

**Procedure for measurement and analysis of high frequency none- sinusoidal partial voltage discharges from electric motors of any shape or amplitude**

**Patent number:** DE19932611  
**Publication date:** 2001-01-18  
**Inventor:** MUELLER KAI (DE); BUSCH RUDOLF (DE); HILFERT SVEN (DE); POHLMANN FRIEDHELM (DE)  
**Applicant:** MUELLER KAI (DE)  
**Classification:**  
- international: G01R31/00; G01R31/34  
- european: G01R31/12F5B, G01R31/34B  
**Application number:** DE19991032611 19990713  
**Priority number(s):** DE19991032611 19990713

**Abstract of DE19932611**

Procedure for measurement and analysis of partial discharges from electrical machinery than can be used with any voltage form or amplitude rather than with purely sinusoidal voltage curves.

---

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 32 611 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 01 R 31/00**  
G 01 R 31/34

⑳ Aktenzeichen: 199 32 611.8  
㉔ Anmeldetag: 13. 7. 1999  
㉕ Offenlegungstag: 18. 1. 2001

DE 199 32 611 A 1

㉑ Anmelder:  
Müller, Kai, Dipl.-Ing., 45307 Essen, DE

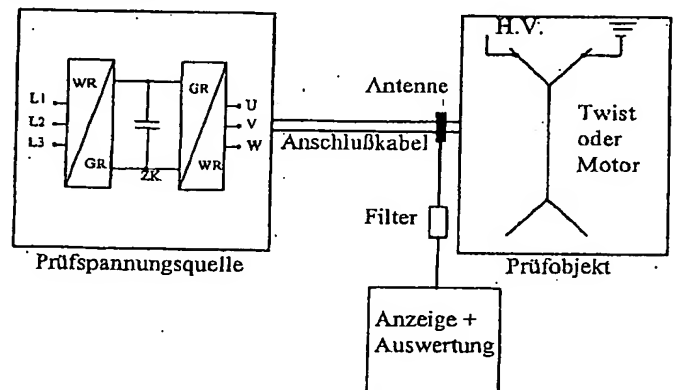
㉒ Erfinder:  
Müller, Kai, Dipl.-Ing., 45307 Essen, DE; Busch,  
Rudolf, Prof. Dr.-Ing., 45309 Essen, DE; Hilfert,  
Sven, Dr.-Ing., 45259 Essen, DE; Pohlmann,  
Friedhelm, Dipl.-Ing., 49774 Löhden, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zur Messung von Teilentladungssignalen

⑤7 Verfahren und Vorrichtung zur Messung von Teilentladungssignalen bei beliebiger Form und Höhe der Prüfspannung in einer elektromagnetisch stark belasteten Umgebung, insbesondere für die Messung von Teilentladungssignalen bei elektrischen Maschinen oder Geräten, die an einem Frequenzumrichter betrieben werden. Mit dem Verfahren beziehungsweise der Vorrichtung ist es möglich, durch Anschluß einer Versorgungs- (in bevorzugter Weise ein Puls-Frequenzumrichter) und einer Meßeinheit, auftretende Teilentladungen zu messen. Bei bekannten Teilentladungsmeßsystemen ist es bisher nicht möglich, bei am Frequenzumrichter betriebenen elektrischen Maschinen oder Geräten Teilentladungen zu messen.

Durch die galvanisch getrennte Einkopplung der Teilentladungssignale mit Hilfe einer Ringantenne, die um die Zuleitung fixiert ist und anschließender Unterdrückung der durch die Prüfspannung oder Umgebung verursachten Störungen unter Zuhilfenahme eines Hochpassfilters höherer Ordnung im Megahertzfrequenzbereich, werden nur die von Teilentladungen hervorgerufenen Signale an das Anzeigegerät übertragen. Hierbei besteht das Anzeigegerät in bevorzugter Weise aus einem Oszilloskop, kann aber auch durch eine Meldeeinheit bzw. Steuereinheit ersetzt werden.



DE 199 32 611 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und auf eine Vorrichtung zur Durchführung von Messungen von Teilentladungssignalen bei beliebiger Form und Höhe der Prüfspannung in einer elektromagnetisch stark belasteten Umgebung, insbesondere für die Messung von Teilentladungssignalen bei elektrischen Maschinen oder Geräten, die an einem Puls-Frequenzumrichter betrieben werden. Mit dem Verfahren ist es möglich, durch Anschluß einer Versorgungsspannung (in bevorzugter Weise ein Puls-Frequenzumrichter) und einer Meßeinheit, auftretende Teilentladungen zu messen (Fig. 1).

Insbesondere bei Elektromotoren treten Teilentladungen durch Spannungsspitzen auf. Teilentladungen beeinträchtigen die Lebensdauer der Isolation. Bisherige Teilentladungsmeßsysteme sind für die Messungen von Teilentladungen an frequenzumrichterbetriebenen Maschinen oder Geräten gänzlich ungeeignet, da diese eine obere Grenzfrequenz zur Erfassung der Teilentladungssignale von einigen Megahertz besitzen, so dass die Frequenzspektren der Impulse des Puls-Frequenzumrichters sowie die Frequenz der zwischen Puls-Frequenzumrichter und angeschlossenem Gerät oder angeschlossenem Motor hin- und herlaufenden Spannungswellen in deren Meßbereich fallen und so das Nutzsignal der Teilentladungen völlig überdecken. Weiterhin benutzen bisherige Teilentladungsmeßsysteme eine sinusförmige Prüfspannung, während die über einen Puls-Frequenzumrichter betriebenen Maschinen und Geräte impulsförmigen Betriebsspannungen ausgesetzt sind, so dass zwischen Prüfung und Betrieb erhebliche Unterschiede bestehen und die Ergebnisse nicht ineinander überführt werden können. Bei Impulsspannungen treten nämlich nicht nur erhöhte Klemmenspannungen durch Reflexionen auf, sondern die Spannungsverteilung über den Wicklungssträngen ist auch extrem nichtlinear, so dass nicht nur zwischen den Phasen sondern auch zwischen einzelnen Windungen desselben Stranges hohe Spannungen und damit Teilentladungen auftreten, was bei Sinusbetrieb nicht möglich ist. Motoren oder Geräte, die an einem Puls-Frequenzumrichter betrieben werden, sind diesen Spannungsspitzen bei jedem Takt ausgesetzt und bei heute üblichen Taktfrequenzen von bis zu zwanzig Kilohertz somit einer viel stärkeren Alterung unterworfen als bei Netzbetrieb.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung gegenüber dem aufgezeigten Stand der Technik, ein Verfahren und eine Vorrichtung zu schaffen, welche es ermöglichen, Teilentladungen auch bei Impulsspannungen und in einer elektromagnetisch stark beeinflussten Umgebung zu messen. Diese Aufgabe wird durch die in den Patentansprüchen aufgeführten Merkmale gelöst. Die Meßvorrichtung ist dabei leicht für unterschiedliche Anwendungen adaptierbar und gestattet eine objektive Bewertung der Teilentladungen in automatisierten Prüfungen. Das neue Meßverfahren (Meßsystem) ist unempfindlich gegen elektromagnetische Störungen (z. B. durch Puls-Frequenzumrichter) und läßt sich daher in der Fertigung zur Qualitätsüberwachung, insbesondere der Prüfung der Windungsisolation einsetzen. Eine weitere Anwendung dieser Erfindung ist die Diagnose von installierten umrichterbetriebenen Maschinen. Es ist nämlich bekannt, dass die Windungsisolation allein durch Teilentladungen zerstört wird und es ist auch bekannt, dass die Teilentladungsanfälligkeit mit der Betriebszeit zunimmt. Die Vorrichtung und das Verfahren gemäß der Erfindung können, wenn Teilentladungen während der Betriebszeit einsetzen, dieses an die zentrale Steuerung mitteilen und so die Notwendigkeit einer Instandhaltungsmaßnahme für den Motor oder das angeschlossene Gerät signalisieren. Dabei ist es von großer tech-

nischer und wirtschaftlicher Bedeutung, dass es möglich ist das Meßsystem anzuschließen und die Messungen durchzuführen, ohne den Betrieb der Maschinen zu unterbrechen. Das erfindungsgemäße Meßverfahren (Meßsystem) bietet weiterhin den Vorteil der galvanischen Trennung von Versorgungs- und Prüfkreis und eröffnet die Möglichkeit, den Sensor des Prüfkreises außerhalb der elektrischen Maschine oder des Gerätes anzubringen (z. B. in der Zuleitung oder direkt im Puls-Frequenzumrichter) und auch in nicht geerdeten Versorgungskreisen, wie sie bei der Messung am Puls-Frequenzumrichter auftreten, zu messen. Durch gleichzeitiges Messen von Teilentladungssignal und anliegender Versorgungsspannung läßt sich mit dem erfindungsgemäßen Verfahren die Grenzspannung für eintretende Teilentladungen ermitteln, wobei sich die Werte in Abhängigkeit von der Spannungsform der Versorgungsspannung (Sinus oder Impuls) aufgrund der unterschiedlichen Spannungsverteilungen innerhalb der Maschine oder des Gerätes, wie bereits erwähnt wurde, stark unterscheiden können. Zudem ist es möglich, die Anzeige so zu gestalten, daß lediglich unterwiesenes Personal die Messung und Auswertung durchführen kann.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, das Signal mit Hilfe eines Sensors in Form einer Ringantenne, die zentriert um das Kabel der Zuleitung der Versorgungsspannung gelegt ist und deren Flächennormale parallel zum Kabel verläuft, in den Meßkreis einzukoppeln (Fig. 2). Es zeigt sich dabei auch, dass die geometrische Größe einen starken Einfluß auf das detektierte Teilentladungssignal hat, da zum einen die Ringantenne Hochpasseigenschaften besitzt und die Grenzfrequenz bei kleinen Abmessungen ansteigt und zum anderen die Feldstärke mit der Entfernung zum Leiter abnimmt. Somit sollte auch die Antenne an die Prüfspannung angepaßt werden, um eine möglichst hohe Meßempfindlichkeit zu erhalten.

Durch Wahl eines elektrisch isolierenden Trägermaterials kann der Sensor mit gleichbleibender Qualität fixiert, galvanisch von der Prüfspannung getrennt und zugleich die Empfindlichkeit durch Verbesserung der Feldkopplung gesteigert werden. Die erwähnte Hochpasseigenschaft des Sensors kann auch dazu benutzt werden, Teilentladungen direkt mit einem Oszilloskop bei Sinusbetrieb zu detektieren.

Bei Messungen mit beliebiger Spannungsform oder in elektromagnetisch gestörter Umgebung kann es vorkommen, daß die erwähnten Hochpasseigenschaften des Sensors allein nicht ausreichen, um die Störsignale auszublenden. Dieser Nachteil wird erfindungsgemäß durch einen nachgeschalteten Hochpassfilter möglichst hoher Ordnung vermieden. Um eine möglichst hohe Empfindlichkeit der Teilentladungsmessungen bei beliebiger Spannungsform zu erreichen, ist es notwendig, das Störspektrum der jeweils verwendeten Versorgungsspannung (Prüfspannung) oder der Umgebung (z. B. Puls-Frequenzumrichter) zu kennen. Dieses Störspektrum ist dabei nicht nur von dem verwendeten Spannungsquelle, sondern auch von der Kabellänge zwischen Spannungsquelle und Prüfobjekt abhängig, wird aber von dem zu testenden Objekt nur wenig beeinflusst. Deshalb wird erfindungsgemäß ein Hochpassfilter mit einer an die gegebenen Bedingungen angepaßten Grenzfrequenz verwendet, welcher das komplette Störspektrum (Fig. 3) unterdrückt und trotzdem das obere Frequenzspektrum der Teilentladungsimpulse möglichst ungedämpft durchläßt (Fig. 4). Je höher die gewählte Grenzfrequenz gewählt wird, desto geringer wird die erzielbare Empfindlichkeit des Meßsystems, da die Amplitude des Teilentladungsspektrums mit der Frequenz abnimmt (Fig. 5). Aus diesen Gründen ist es für eine möglichst empfindliche Teilentladungsmessung (z. B. für Messungen bei Puls-Frequenzumrichterbetrieb)

wichtig, eine Filter möglichst hoher Ordnung mit angepaßter Grenzfrequenz zu wählen, der im Durchlaßbereich eine geringe Dämpfung aufweist. Ein Hochpassfilter 10. Ordnung hat sich für das oben angegebene Meßproblem bewährt. Von großem Vorteil für die Weiterverarbeitung des Signals des Sensors ist, dass das Meßsignal von dem bis zu mehreren Kilovolt Spannung führenden Prüfkreis galvanisch getrennt ist, wodurch die nachgeschalteten Elemente nur noch eine Spannungsfestigkeit von wenigen Volt und nicht die des Prüfkreises besitzen müssen.

Für den Fall, dass keine Möglichkeit besteht, das Störspektrum mit Hilfe des Sensors und eines Spektrumanalysators auszumessen, kann man folgendermaßen beim Aufbau des Meßsystemes vorgehen:

- a) Bei Impulsbetrieb ist das Störspektrum bei gleicher Spannungshöhe linear von der Impulsanstiegszeit, beziehungsweise linear von der Spannungshöhe bei gleicher Impulsanstiegszeit abhängig. Man braucht also nur die Impulsanstiegszeit zu bestimmen, um das Meßsystem an eine andere Impulsquelle (Puls-Frequenzumrichter mit Anschlußkabel) anzupassen.
- b) Bei einer Impulsanstiegszeit von 150 ns und einer Spannungshöhe von 1,2 Kilovolt ist beispielsweise ein Filter 10. Ordnung mit einer Grenzfrequenz von 230 MHz vorteilhaft.
- c) Der Sensor ist bevorzugt als Ringantenne mit einem Halter aus Isolierwerkstoff mit möglichst großer Permittivitätszahl  $\epsilon_r$  und einem Durchmesser von 50 mm auszuführen.
- d) Der Sensor kann teilbar ausgeführt werden, um ihn ohne Unterbrechung des Betriebes auf der Anschlußleitung anzubringen (Zangensensor).
- e) Die Verbindung zwischen Sensor, Filter und Anzeige sollte über ein gut geschirmtes koaxiales Kabel erfolgen, wobei das Filter selber in einem HF-dichten, geschirmten Gehäuse untergebracht sein muß. Die sorgfältige Abschirmung des Systemes ist von außerordentlicher Bedeutung, da ansonsten die vorher unterdrückten Störungen wieder in das System gelangen.

Es ist mit den oben gemachten Angaben sehr einfach, das erfindungsgemäße System an eine neue Meßsituation anzupassen, ohne dabei unbedingt auf teure Meßgeräte (Spektrumanalysatoren) zurückgreifen zu müssen. Weiterhin besteht eine einfache Möglichkeit, die Effektivität der Störunterdrückung zu testen, indem einfach das zu prüfende Objekt von der Versorgung getrennt und das Signal des Meßsystems bei eingeschalteter Prüfspannungsquelle kontrolliert wird.

Weiterhin ist es möglich, das Meßsignal elektronisch so aufzubereiten, daß zum Beispiel nach einer Verstärkung und Gleichrichtung ein schmalbandiges Signal zur Verfügung steht, welches von einer kostengünstigen Anzeigeneinheit angezeigt und/oder in einem EDV-System oder in einem Puls-Frequenzumrichter weiterverarbeitet werden kann.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Erfassung und Bewertung von Teilentladungen in elektrischen Maschinen oder anderen elektrischen Geräten, dadurch gekennzeichnet, dass nicht nur bei Sinusspannung sondern auch bei beliebiger Spannungsform und Spannungshöhe gemessen und bewertet werden kann.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in einer elektromagnetisch stark belasteten Umgebung gemessen werden kann.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Meßsignal mit Hochpasscharakteristik bis in den GHz-Frequenzbereich ausgekoppelt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass Störsignale mittels eines angepaßten Filters höherer Ordnung unterdrückt werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Nutzsignal durch ein breitbandiges Anzeigegerät angezeigt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Nutzsignal durch Weiterverarbeitung in ein schmalbandiges Signal umgewandelt wird, um es anzuzeigen oder elektronisch weiterverarbeiten zu können (Erzeugung eines Einheitssignales).

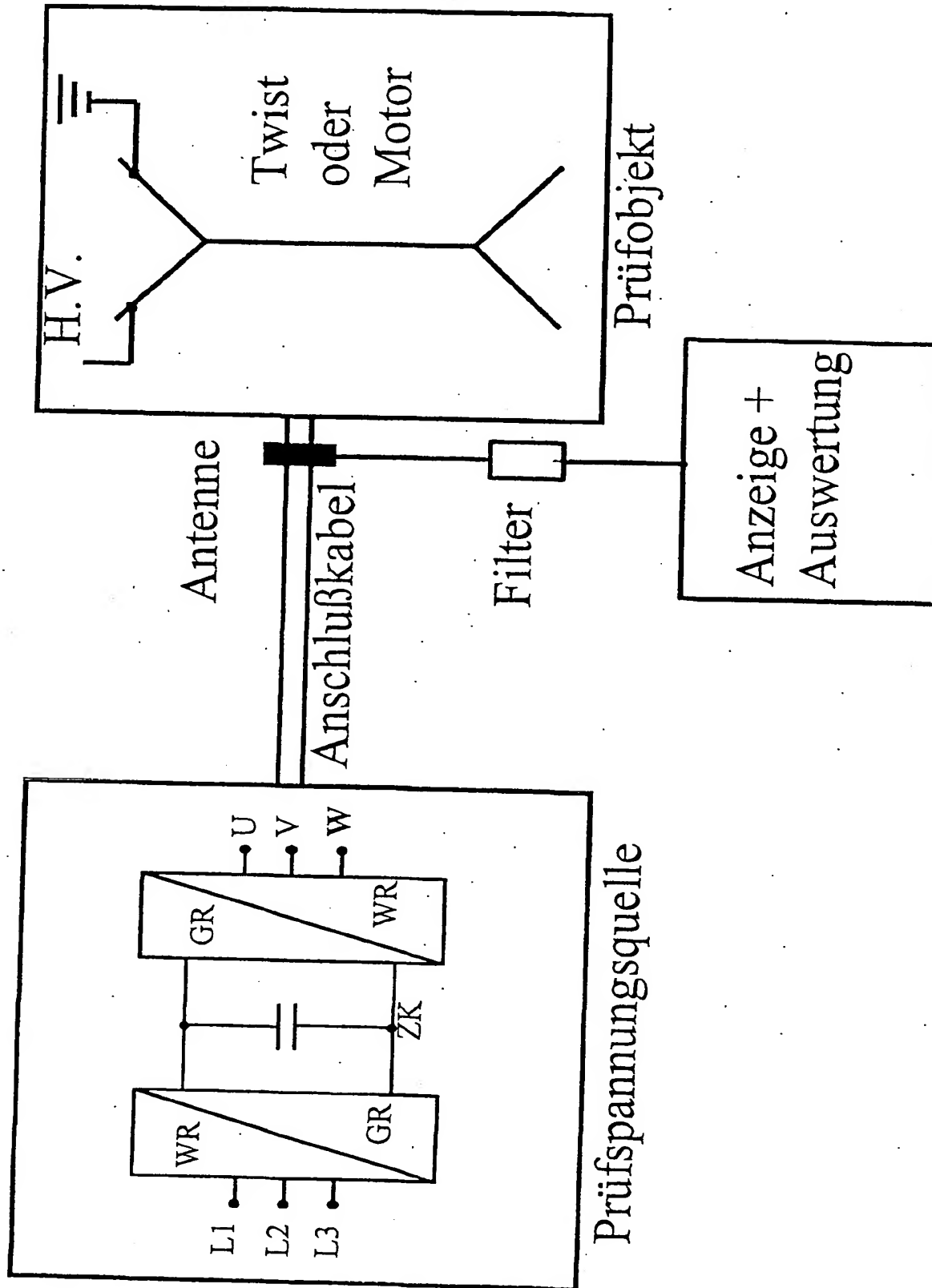
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6 zur Durchführung des Verfahrens.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass es möglich ist ohne Unterbrechung des Betriebes das Meßsystem anzuschließen und die Messung durchzuführen.

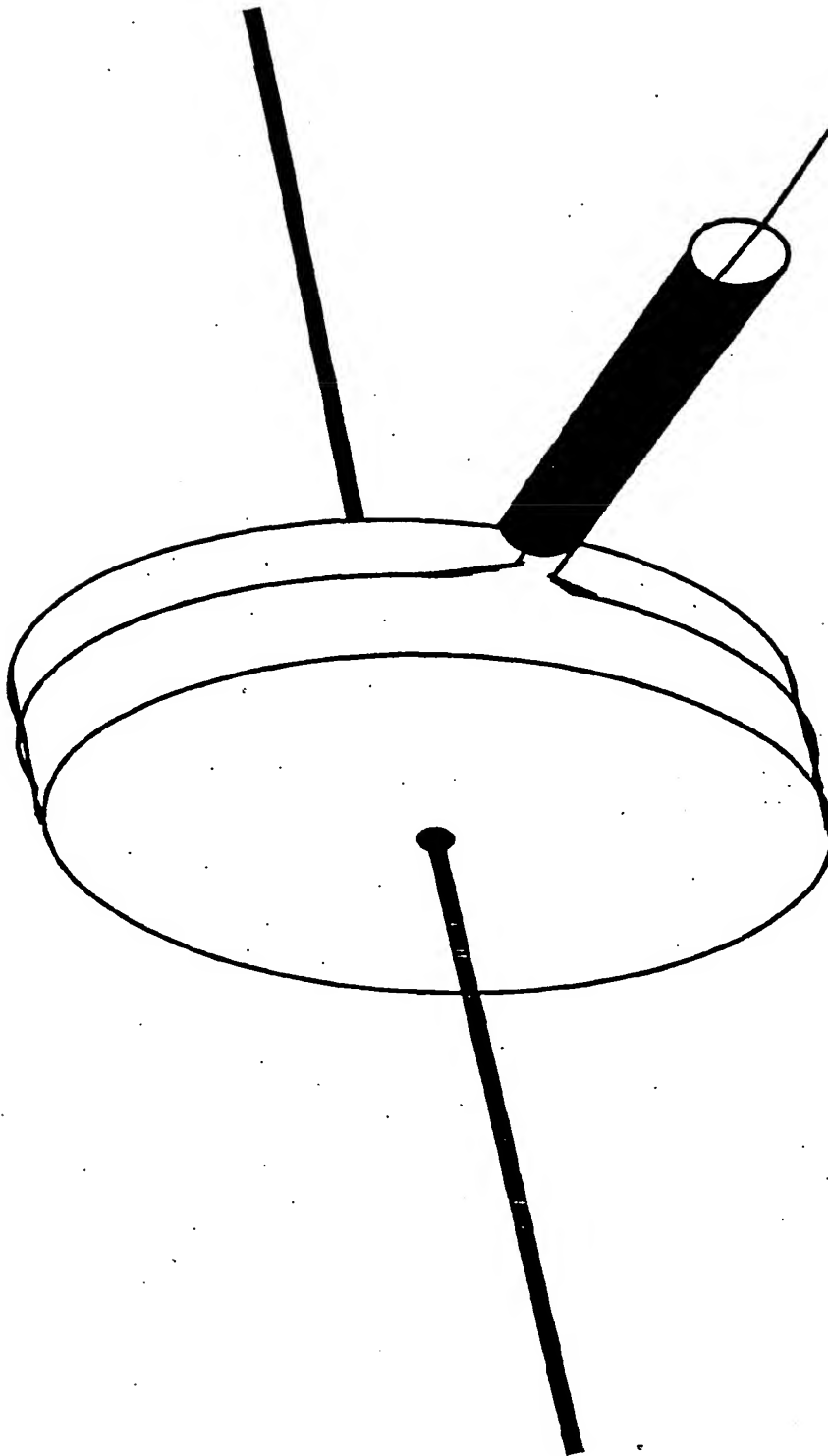
9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass es möglich ist, auch in nicht geerdeten Systemen zu messen.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass zum Auskoppeln der Teilentladungssignale eine Ringantenne um die Zuleitung verwendet wird.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

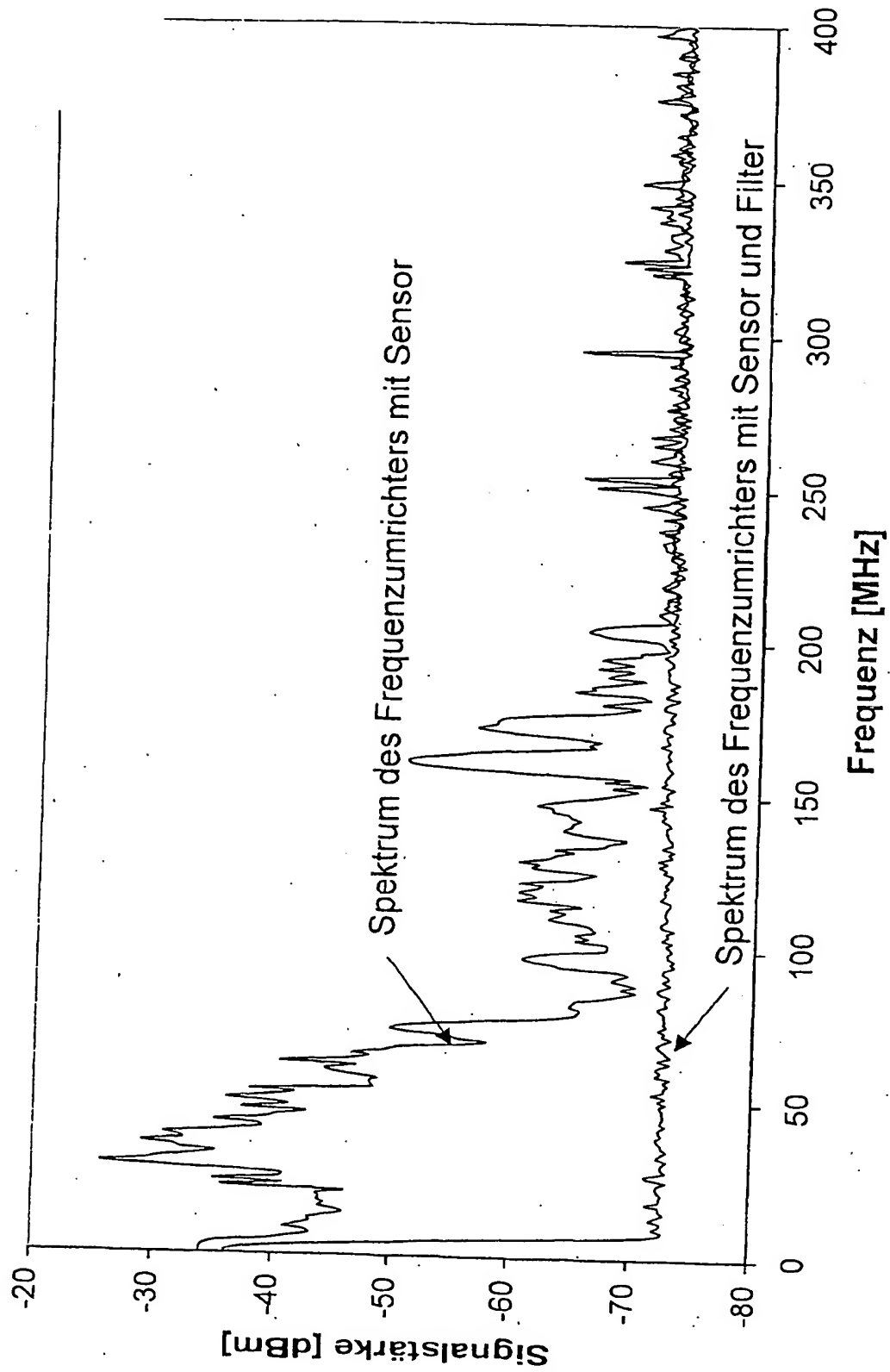


Figur 1: Prinzipieller Meßaufbau



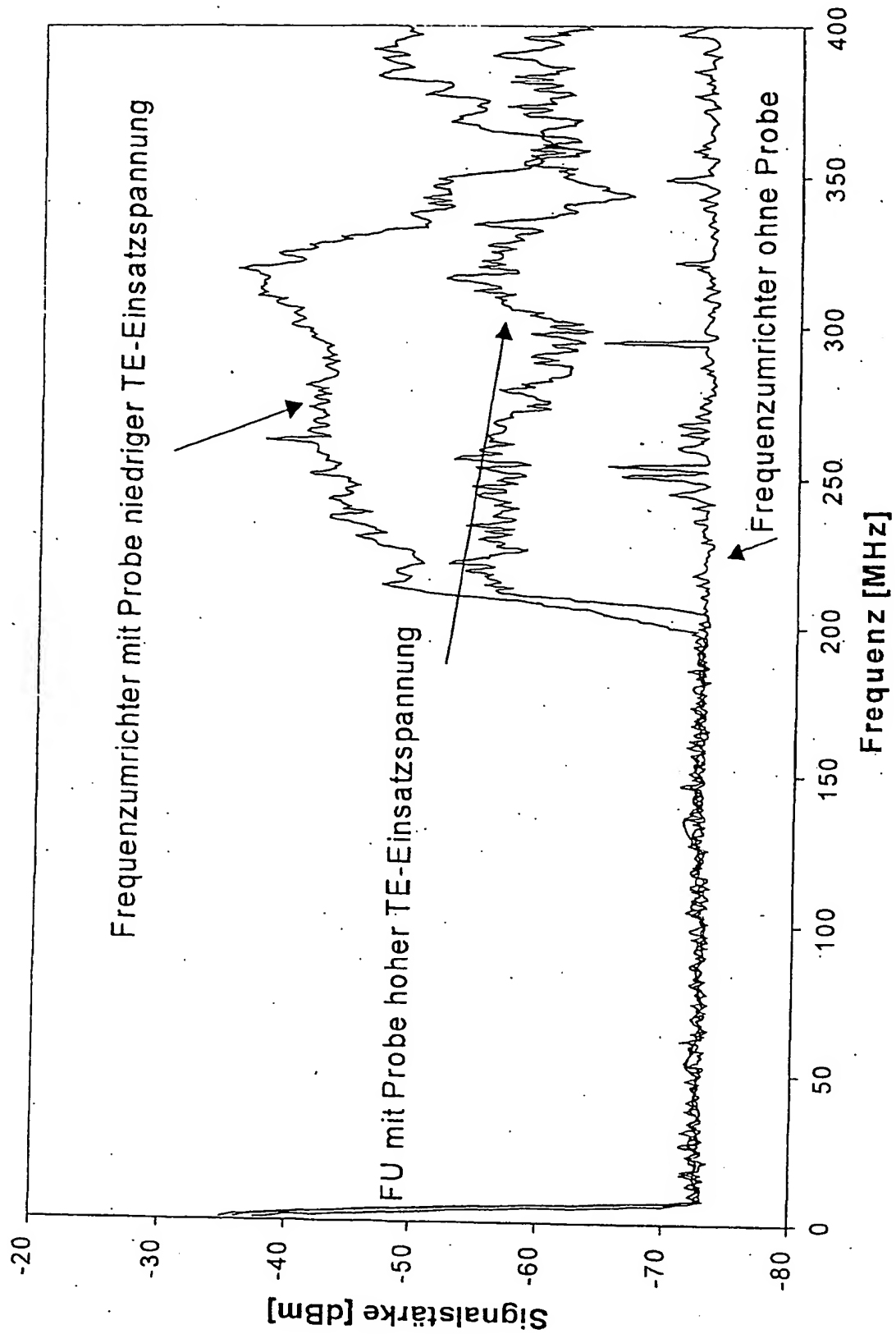
Figur 2: TE-Sensor

# Spektren am Frequenzumrichter mit 25m Kabel



Figur 3:

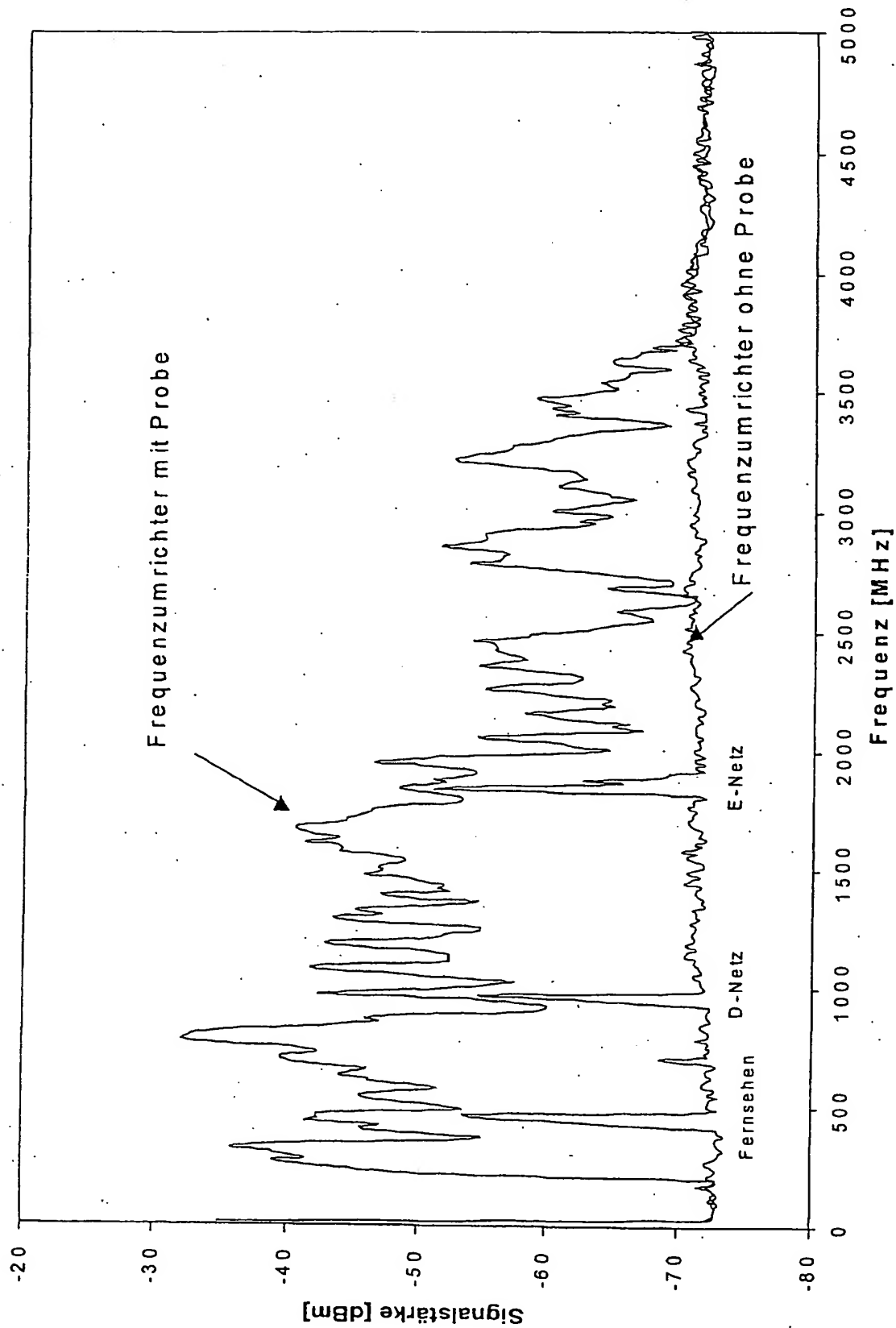
## Spektren des Meßsystemes am Frequenzumrichter mit 25m Kabel



Figur 4:



# Spektren des Meßsystemes am Frequenzumrichter mit 25m Kabel



Figur 5: